

масс поступающей воды, наряду с большими сбросами отработанной воды в канализацию, позволяет применить тепловые насосы в двух направлениях. Тепловые насосы могут не только подогревать воду в бассейне, но и утилизировать тепло сточных вод с дальнейшей выработкой тепла для приготовления горячей воды [4].

Использование тепловых насосов в жилищно-коммунальной сфере поможет повысить эффективность как индивидуальных систем отопления, так и сетей центрального отопления. Однако их внедрение в данную сферу требует особого подхода, связанного с выбором источника тепла и различных подходов использования тепловых насосов, в том числе для кондиционирования зданий и утилизации тепла сточных вод [5].

В дальнейшей работе предполагается теоретически рассмотреть способы применения тепловых насосов для существующих промышленных объектов города Челябинска. Будет проведён обзор заводов, фабрик, электростанций, коммунальных сетей, бассейнов и прочих объектов, где существует возможность осуществления утилизации тепла и подготовки воды с помощью тепловых насосов, рассмотрены принципы осуществления таких технологий. На основе полученных данных будет произведена экономическая оценка рассмотренных технологий.

Список литературы

1. Филиппов С. П., Дильман М. Д., Ионов М. С. Перспективы применения тепловых насосов в России // Энергосовет. 2011. № 5 (18). С. 42–46.
2. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании / Г. П. Васильев, Д. Г. Закиров, И. М. Абуев, В. Ф. Горнов // Водоснабжение и канализация. 2009. № 7–8. С. 54–58.
3. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения : пер. с нем. М. : Стройиздат, 1985. 352 с.
4. Садовников А. А. Использование тепловых насосов для подогрева воды в бассейнах // Сантехника. 2013. № 2. С. 18–26.
5. Бриганти А. Тепловые насосы в жилых помещениях // АВОК. 2001. № 5. С. 24–30.

УДК 620.92

Черепанова О. А., Хасанов Р. Р., Семенов Н. А., Богатова Т. Ф.
Уральский федеральный университет,
tb-upi@mail.ru

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Развитие угольной генерации способствует обеспечению системной надёжности энергетики. В Энергетической стратегии России [1], а также в Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики (до 2030 г.) [2] запланированы к этому сроку ввод новой и модернизация уже действующей угольной генерации общей мощностью 26,1 ГВт. Основной ввод новой угольной генерации планируется в регионах Сибири и Дальнего Востока, поскольку именно там сосредоточены крупнейшие угольные бассейны, а каждый второй киловатт-час производится на угле, в то время как в европейской части 90 %

электроэнергии вырабатывается на газе. Так, в 2012–2013 гг. были запущены третий энергоблок на Харанорской ГРЭС в Забайкалье и четвертый блок Гусиноозерской ГРЭС в Бурятии. На стадии проектирования и строительства находятся еще три угольные станции – Сахалинская ГРЭС-2, Совгаванская и Благовещенская ТЭЦ.

Огромный резерв для инновационного развития энергетики заложен в повышении эффективности и экологичности технологий угольной генерации.

Одним из направлений развития угольной генерации является совершенствование паротурбинных энергоустановок на базе традиционного прямого пылеугольного сжигания. Сжигание топлива с использованием суперсверхкритических параметров пара (ССКП) рассматривается сегодня в качестве энергоэффективной технологии на ближнесрочную перспективу. В настоящее время уже освоенным считается уровень параметров ССКП: давление острого пара до 30 МПа, температура острого пара до 600–650 °С и температура промежуточного перегрева (одного или двух) до 620 °С. КПД нетто таких энергоблоков составляет 43–44 %. Кстати, экспериментальная турбина с такими параметрами мощностью 100 МВт была установлена в России на Каширской ГРЭС еще в 1969 г. Ожидается, что КПД энергоблоков на каменном угле при температуре пара 700 °С, которая может быть достигнута к 2020 г., составит 45–47 %.

Наиболее активно разработка технологий, связанных с ростом параметров паросилового цикла, проводится в странах ЕС, США и Японии [3]. При поддержке Европейской комиссии разрабатывается пылеугольный блок с перегревом пара до 700 °С и давлением 37,5 МПа с двумя промперегревами 12,5 МПа/720 °С. Такие параметры пара в сочетании с глубоким вакуумом в конденсаторе $(0,015–0,021) \cdot 10^5$ Па должны обеспечить КПД блока на природном газе на уровне 53–54 %.

Преимуществом традиционного направления является то, что это технологии прямого сжигания, хорошо освоенные производителями энергетического оборудования и отработанные в эксплуатации. Однако переход на новый уровень температур пара требует использования более жаростойких материалов для основных высокотемпературных деталей котла, турбины и паропроводов свежего и вторичного перегретого пара. Недостатками являются высокие издержки в системе газоочистки, повышенные требования к качеству топлива. Ухудшение качества топлива в долгосрочной перспективе при увеличении объемов его переработки и принципиально новый уровень требований к экологической стороне процесса, связанный с проблемой глобального потепления, существенно ограничивают конкурентные преимущества этого направления.

Ближайшим конкурентом ССКП-технологии является ступенчатое сжигание (ВЦГ-ПГУ). Внутрицикловая газификация (ВЦГ) требует разработки специализированных турбин для сжигания синтез-газа. Такие турбины уже предложены ведущими компаниями – *Ansaldo* (Италия), *MHI* (Япония) и *Siemens* (Германия). Лучшие современные образцы ВЦГ-ПГУ имеют КПД 44–46 %, а в перспективе – до 55–56 %. Прямое сжигание с ССКП, с его современным КПД 43–44 % и перспективой до 50 % и выше, возможно, проще по конструкции, однако заметно дороже по материалам. Последнее обстоятельство примерно выравнивает конку-

рентные свойства ССКП и ВЦГ-ПГУ. В частности, Китай планирует наращивать свои ССКП-мощности, однако предпочтение отдает ВЦГ-ПГУ: темпы прироста мощности ВЦГ-ПГУ после 2015 г. будут примерно вдвое выше, чем для ССКП [4]. Существенным фактором конкуренции является вероятная необходимость введения технологий улавливания и захоронения углекислого газа *CCS*, при которых стоимость улавливания CO_2 может оказаться определяющей. Введение мероприятий по улавливанию в меньшей степени коснется ВЦГ-ПГУ, тогда как установки прямого сжигания, включая ССКП, по-видимому, будут массово переводить на технологию *Oxyfuel*.

Технологии на природном газе и технологии прямого сжигания угля представляют собой ближайших конкурентов внутрицикловой газификации угля как на отечественном, так и на мировом рынке энергетических технологий.

Для успешной конкуренции с ССКП технологиям газификации необходимо существенно сократить удельную стоимость установленной мощности. Соревнование двух классов технологий в этой сфере подвержено влиянию конъюнктуры в борьбе с глобальными изменениями климата, которая выходит далеко за рамки энергетики. Обязательность улавливания и захоронения углекислого газа (*CCS*), вероятность возникновения которой высока, в неравной мере скажется на технологиях конверсии и прямого сжигания и в заметно большей увеличит себестоимость последних. С одной стороны, Россия пока не взяла на себя жестких обязательств по сокращению выбросов CO_2 , а с другой – отечественной энергетике необходимо иметь готовые технические решения на тот случай, если это произойдет. Это делает опережающую разработку отечественной ВЦГ-ПГУ крайне актуальной.

Анализ технико-экономических параметров различных технологий сжигания угля (см. таблицу) позволяет сделать вывод, что технологии газификации имеют существенный технико-экономический, экологический потенциал, энерго-ресурсосберегающий эффект и на перспективу являются одним из базовых направлений развития мировой твердотопливной энергетики и промышленности.

Технико-экономические параметры различных технологий сжигания угля [5]

Параметры	Тип станции, топливо, параметры пара					
	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	природный газ
	ПСТ, докритический, 18,0 МПа, 540/540 °С	ПСТ, сверхкритический, 25,0 МПа, 560/560 °С	ПСТ, суперсверхкритический, 30,0 МПа, 600/620 °С	ПСТ, ультра-суперсверхкритический, 35,0 МПа, 700/700 °С	IGCC, 3 контура давления, 12,4 МПа, 560/560 °С	ПГУ, 3 контура давления, 12,4 МПа, 560/560 °С
1	2	3	4	5	6	7
Номинальная мощность, МВт	500	500	500	500	500	500
Собственные нужды, МВт	42	42	44	43	67	11
Мощность на выходе, МВт	458	458	456	457	433	489
КПД брутто, %	43,9	45,9	47,6	49,9	50,9	59,3

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
КПД нетто, %	40,2	42,0	43,4	45,6	44,1	58,1
Эмиссия, т/ч	381	364	352	336	321	170
Удельные эмиссии, т/(МВт·ч)	0,83	0,80	0,77	0,73	0,74	0,35

Примечание. ПСТ – прямое сжигание топлива (угля); IGCC – интегрированный комбинированный цикл с газификацией топлива; ПГУ – парогазовая установка

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года – утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/> (дата обращения: 21.11.2014).
2. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2030 года – одобрена Правительством Российской Федерации, протокол от 3 июня 2010 г. № 24 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902091165> (дата обращения: 21.11.2014).
3. Power Generation From Coal 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iea.org/publications/> (дата обращения: 21.11.2014).
4. Jianxiong Mao How does China reduce CO₂ emissions from coal fired power generation? Activities and deployment of clean coal power generation and carbon capture in China // World Bank 2009 Energy Week. Washington DC. 2009, march 31 – april 2.
5. Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050. Paris: OECO / IEA. 2008. 644 p.

УДК 621.318

Черноскутов Д. В.
Уральский федеральный университет,
chernoskutov1989dv@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИЗОЛЯЦИОННОГО И ДУГОГАСИТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ КОММУТАЦИОННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АППАРАТА

В настоящее время в электротехнической сфере в соответствии с принятым в 1997 г. Киотским протоколом [1], обязывающим снизить объем выброса парниковых газов, осуществляется поиск альтернативных средств, которые могут быть использованы в высоковольтной аппаратуре в качестве электроизолирующего и дугогасящего средства. Приоритетной линией мирового развития электроаппаратостроения является выбор в пользу экологически чистых материалов, способных в полной мере заменить существующие изолирующие среды, при этом сохранить и даже повысить номинальные технические параметры разрабатываемых высоковольтных аппаратов. В качестве такой альтернативной передовой инновационной технологии газовой изоляции в данной статье рассматривается углекислый газ CO₂.